

pISSN 2073-4484
eISSN 2311-8768

Математический анализ и моделирование в экономике

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА РАВНОВЕСНЫХ И МЕЖОТРАСЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ*

Евгений Львович ТОРОПЦЕВ ^а,

Александр Сергеевич МАРАХОВСКИЙ ^б,

Рамзия Ризаевна ДУЖИНСКИ ^с

^а доктор экономических наук, профессор кафедры бизнес-информатики,
Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ),
Ставрополь, Российская Федерация
eltoroptsev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4036-6002>
SPIN-код: 7087-1760

^б доктор экономических наук, доцент,
научный консультант, индивидуальный предприниматель,
Ставрополь, Российская Федерация
marahov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2248-8425>
SPIN-код: 5356-5570

^с доктор психологических наук, профессор,
Колледж гуманитарных и естественных наук,
Университет Нэшнл Льюис,
Чикаго, Соединенные Штаты Америки
ramzia@aol.com
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 839/2018
Получена 14.11.2018
Получена в
доработанном виде
28.11.2018
Одобрена 11.01.2019
Доступна онлайн
29.11.2022

УДК 330.366
JEL: B41, C02, C61,
C68

Аннотация

Предмет. Теоретические основы разработки нового класса моделей на основе равновесных и межотраслевых, обладающего расширенными информационно-аналитическими возможностями.

Цели. Постановка проблемы прорыва зоны малых приращений экономического роста российской экономики. Определение теоретических и практических ограничений эффективного применения равновесных моделей для анализа эффективности экономической политики. Выявление актуальных компонент вектора экономической перспективы страны. Обоснование создания комплекса из равновесных и межотраслевых моделей для адекватного анализа современной российской экономики. Постановка и решение проблемы структурной устойчивости экономических систем, анализа их собственных динамических свойств для поддержки или отклонения этапа равновесного моделирования.

Методология. Использованы положения неоклассической экономической теории, агентного и равновесного моделирования на ее основе, системного и межотраслевого анализа.

Результаты. Нам удалось не противопоставлять равновесное и агентное моделирование с межотраслевым, заставляя делать выбор между ними, а объединить их лучшие качества в комплексе, образующем новый класс макроэкономических моделей. Комплекс в отношении своих

Ключевые слова:

CGE-модели,
межотраслевой баланс,
экономическая
динамика,
комплексирование

составляющих обладает свойством эмерджентности и проявляет синергетический эффект, тогда как ранее эти составляющие конкурировали между собой для «захвата рынка» моделирования. Создание обсуждаемых комплексов логично, так как соперники и конкуренты – это хуже, чем союзники, а компоненты комплекса имеют общие переменные, используют таблицы «затраты – выпуск» для оцифровки, опираются на принцип баланса и являются вычислимыми.

Выводы. Равновесные и межотраслевые модели являются родственными по источникам происхождения и первые не должны оттеснять вторые в борьбе за лидерство на рынке моделирования. Гибрид CGE-МОБ является новым классом моделей, качественно расширяющий информационно-аналитические возможности обеих половин, образующих комплекс.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

Для цитирования: Торопцев Е.Л., Мараховский А.С., Дужински Р.Р. Теоретические основы разработки комплекса равновесных и межотраслевых моделей // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 464 – 490.

<https://doi.org/10.24891/fa.15.4.464>

Значительная часть экономических и социальных реформ первого постсоветского десятилетия носила разрушительный характер. Это не оценочное суждение, а подтвержденный наблюдениями, в том числе и статистическими, факт. По последствиям их результаты сравнимы разве что с потерями в войне, если допустить жесткую оценку, а если смягчить, то надо говорить о результатах, совершенно неадекватных общественным ожиданиям. Таков был этап «первоначального накопления капитала» в современной России. Однако и далее, уже в начале 2000-х гг., как отмечено во введении к работе [1], реформы не раз, цитируем, «продемонстрировали свою слабую проработанность, являющуюся следствием пренебрежения множеством факторов, влияющих на экономическую ситуацию». Председатель Правительства РФ Д.А. Медведев в работе [2] раскрыл одну из причин такого положения дел. Она кроется в том, что, «современное экономическое и технологическое развитие вообще плохо поддается прогнозированию, но в период после 2008 г. наблюдается качественно иной уровень нестабильности, резко снижающий возможности прогнозировать даже ближайшее будущее» [2]. Такое видение обусловлено высоким уровнем политизации современной экономики, обострением всех возможных конфликтов и высокой динамикой изменения современного миропорядка. Налицо сформировавшееся недоверие власти к любым экономическим исследованиям, сочетающим инструменты математического моделирования, прогнозирования и системного анализа, что делает подход, определяемый пословицей «семь раз отмерь, один раз отрежь», невостребованным. В этих условиях «слабо проработанные» или просто необдуманные действия государственных органов власти практически гарантированы. Это ставит под сомнение любые возможности эффективно решать проблему выработки целостной экономической и социальной политики, прорывающей зону

* Статья подготовлена по материалам журнала «Экономический анализ: теория и практика». 2019. Т. 18. Вып. 3.

малых приращений экономического роста, вводящей этот рост в конус магистральных траекторий [3] и приводящей к конечной цели – росту благосостояния населения через рост производительности, конкурентоспособности и всякой эффективности в самом широком смысле.

Подобные прорывы невозможны без эффективного применения экономико-математического моделирования странового уровня, которое уже более полувека опирается на так называемые CGE-модели (Computable General Equilibrium models). Они учитывают большое количество факторов и позволяют проводить сценарные исследования эффективности деятельности государства по принципу «что будет, если окажется принятой и реализованной та или иная экономическая политика». Эти модели, как известно, по природе являются равновесными, представляются системами нелинейных алгебраических уравнений достаточно высоких размерностей [4]. Они содержат от десятков до тысяч уравнений, что позволяет адаптировать их к реальной экономике. Численные решения таких систем реализуют итерации, минимизирующие абсолютные отклонения спроса от предложения на всех рассматриваемых в конкретной модели рынках товаров и факторов производства.

В работе [4] проанализированы 80 источников литературы, посвященной CGE-моделированию, а фундаментальная монография [1] содержит, цитируем, «полные описания четырех моделей этого класса, рассматривающих отраслевые, региональные и институциональные аспекты экономики России».

Модели CGE представляют отдельные регионы (локальные модели) [5, 6], страны [7, 8] и группы стран [9, 10]. Модели характеризуются разработчиками как универсальные, всеобщие и самодостаточные и не имеющие ограничений в применении к разным экономикам хотя бы на том основании, что используемые в них математические зависимости являются «экономически обоснованными». Всегда? Нет, конечно. Эти модели в качестве теоретико-методологической базы используют положения неоклассической экономической теории, которые, как и всякие теоретические положения, часто описывают только идеализированные образы реальной экономики, где имеет место маржинализм, общее равновесие, рациональные ожидания, сравнительная статика, принцип соответствия Самуэльсона, совершенная конкуренция, политическая свобода, социальная справедливость. Само ядро неоклассической теории предполагает наличие в экономике единственной равновесной точки, рациональность выбора индивидов и стабильность их предпочтений [11]. Да, институциональная экономика вносит необходимые изменения для преодоления ограничений неоклассики, но она пока не имеет достаточного уровня формализации для свободного применения методов численного анализа на компьютере.

Отмеченное, во-первых, позволяет рекомендовать CGE-моделирование в отношении экономических систем, отличающихся устойчивым [12] экономическим ростом на

длинных временных горизонтах, а, во-вторых, для тех, в которых рост уже практически невозможен в связи с выходом экономики на предельные показатели, соответствующие текущему уровню технологического развития человечества. В последнем случае могут максимизироваться функции полезности, что характерно, например, для экономики Японии и некоторых других стран, где все факторы производства задействованы максимально эффективно и можно автоматически предположить совершенство в отношении лиц, принимающих экономические решения (ЛПР). С сожалением констатируем, что современную Россию нельзя отнести ни к первой, ни ко второй группе стран. В 1990-е гг. она погрузилась в многолетнюю пучину банкротств, выполняя положения «вашингтонского консенсуса» и переведя свою экономику буквально на траекторию самоликвидации. Это можно зафиксировать и математически, получая отрицательные значения приростных фондоемкостей, не имеющие экономического смысла. Это не оговорка. Поясняя это, заметим: разве имеет экономический смысл принудительная ликвидация производственных мощностей отраслей экономики, значительно превышающая норму амортизации их основного капитала? Убедитесь сами. Формула для вычисления приростной фондоемкости из работы [13] имеет следующий вид:

$$b_{ij} = \frac{I_{ij}}{\hat{X}_j (f_{ij} + \Delta_j)}, \quad (1)$$

где I_{ij} – годовые инвестиции вида экономической деятельности (ВЭД) j в фонды, произведенные в ВЭД i ;

$\hat{X}_j$ – производственная мощность ВЭД j в текущих ценах;

f_{ij} – норма амортизации капитала, произведенного в i и потребляемого в j ;

Δ_j – годовая норма изменения производственной мощности j .

Именно «изменения», а не «приращения». Поэтому возможна немыслимая в свое время ситуация, когда $\Delta_j < 0$ (например, мы сносим действующие заводы, записанные в неэффективные) и по модулю превышает f_{ij} , то очевидны отрицательные значения скобки в знаменателе формулы (1) и, следовательно, отрицательные значения приростных фондоемкостей b_{ij} .

А ведь так и было в первое постсоветское десятилетие. По рекомендациям и под присмотром советников из США и МВФ предприятия записывались в неэффективные и ликвидировались. Ярким примером может служить утрата отечественного гражданского самолетостроения. А теперешнее штучное производство пассажирских самолетов всегда будет проигрывать в рентабельности Боингам и Эирбасам, которым наш рынок достался даром, безо всякой конкурентной борьбы.

Затем, уже в 2000-е гг. мы непростительно долго топтались на месте, выбирая варианты дальнейшего развития и прикидывая шансы, бесконечно оглядываясь при этом на нефтяные цены. Это вместо того, чтобы:

- энергично развивать электронику, двигателе-, робото-, да вообще всякое машиностроение и прочие наукоемкие направления, производящие сложную продукцию с высокой добавленной стоимостью, включая семенной и другой селекционно-генетический материал для сельского хозяйства;
- придать способность российской банковской системе вести расчеты в рублях и в валюте, обходя корреспондентские счета банков США, заполучить в собственность клиринговую систему обслуживания внешней торговли без участия реальных денег;
- ввести прогрессивную шкалу налогообложения, применяемую во всех без исключения развитых странах мира;
- вывести из тени доходы населения и фирм;
- за прошедшие десятилетия создать надежный источник ренты для пенсионной системы, позволяющий гарантировать выплату пенсий без увеличения пенсионного возраста как минимум до наступления эры уверенного экономического роста не менее 5–7% и неразрывно связанного с ним роста благосостояния населения;
- отменить усеченный тариф на уплаты пенсионных сборов, по которому 22% взимается с доходов до 100 тыс. руб. в месяц, а с доходов более 100 тыс. – только 10%;
- взимать сборы в пенсионный фонд с прибыли юридических лиц (как с доходов физических лиц – это было в практике работы пенсионной системы СССР), что позволило бы не только отказаться от повышения пенсионного возраста, но и обеспечить размер средней пенсии в России на уровне 45% от средней зарплаты уже в 2019 г.;
- вести реальную борьбу с коррупцией и нецелевым расходованием бюджета, взять под жесткий контроль процессы трансграничного движения капитала;
- применить весь мыслимый протекционизм в реальном секторе экономики, стимулируя инвестиции в основной капитал при государственном участии.

Вот достойные и значимые компоненты вектора экономической перспективы России. Они не претендуют на полноту описания, но пищу для анализа дают. Вообще не проходит ощущение того, что наше правительство так и ориентируется на какой-то внешний заказ, максимизируя собственную и известную только узкому кругу посвященных «функцию полезности», стремясь в сжатые сроки получить финансовый результат для себя на спекулятивных рынках и за счет требования все новых жертв со стороны населения.

Результатами «усилий» по более чем четвертьвековому «реформированию» экономики являются:

- ее сырьевой и офшорно-компрадорский характер;
- непрерывный произвол монополий, обеспечивающий только ценоповышательное «развитие» страны;
- беспрецедентная зависимость от доллара (от западных технологий) по множеству важнейших направлений, включая оборонную промышленность и разработку месторождений полезных ископаемых;
- глубокая эрозия человеческого капитала.

Такая модель во времени гарантирует экономический рост в зоне его малых приращений, стагнацию или спад, в зависимости от конъюнктуры, складывающейся на сырьевых рынках в мире.

Зачем мы все это описываем? В нашем случае *только* для того, чтобы поставить под сомнение возможности неоклассической теории в отношении адекватного анализа современной российской экономики. Если пределы неоклассики в России преодолены, то «экономическая обоснованность» уравнений, составляющих CGE-модели, ставится под сомнение, что резко снижает меру доверия к результатам моделирования. И это в условиях, когда многие оценки деятельности правительства и проводимых им бесконечных реформ носят полемический, эмоциональный или догматический характер, когда мы имеем огромный дефицит исследований на основе математического моделирования и расчетов.

Здесь заметим, что получить готовую CGE-модель нам не удастся – такие модели у нас в стране являются собственностью крупных научных центров типа ИНП или ЦЭМИ РАН. Подробные описания моделей – это даже не уровень статей. Такие описания можно видеть в монографиях или на сайтах организаций, но воспользоваться моделями, оценить их вычислительную эффективность, воспроизвести расчеты или сделать новые нельзя. Например, только хозяева модели будут знать, насколько далеко калибровка сдвинула данные в сравнении с теми, что имеет Росстат. А значит, никто не узнает, является ли вычисленная точка равновесия только результатом счета, или таковая имеется в реальной российской экономике. Встает вопрос о границах применимости CGE-моделей.

Теоретическая база этих моделей позволяет более или менее уверенно сказать, что результаты моделирования и расчетов будут адекватными для структурно устойчивых экономик [14], то есть для тех, которые структурно (технологически) готовы к расширенному воспроизводству, к экономическому росту. Заметим, что если предположить совершенство лиц, принимающих экономические решения (все равно уровень этого совершенства не поддается математическому моделированию),

то рост состоится – птица, имеющая здоровые крылья, обязательно взлетит. В таких экономиках, как в системах, будут работать основные положения неоклассики, а исследования и оценки на основе CGE-моделей будут иметь практическое значение.

Известно, что рассматриваемые модели являются открытыми в смысле изменения состава образующих их уравнений. Это позволяет вписать в модели динамический межотраслевой баланс (МОБ), однозначно описывающий структуру экономики и ее динамические свойства, в виде алгебро-дифференциальной системы уравнений. В свою очередь это качественно повысит объективность применения и улучшит информационные и аналитические возможности большой модели, по существу, определив полученное комплексирование как новый класс моделей. При этом на базе МОБ можно оценить такой показатель, как степень экономического роста [15], решать проблемы структурной устойчивости и качества переходных процессов, а CGE-модели с большим практическим основанием могут взять на себя спектр свойственных им задач, если МОБ установит структурную устойчивость системы. К числу таких задач относится комплексный анализ эффективности проводимой или только намечаемой к реализации социально-экономической политики и реформ.

Чем же конкретно динамический МОБ обогащает CGE и почему комплексирование CGE-МОБ можно считать новым классом экономико-математических моделей? Сразу отметим, что наше моделирование является родственным, но в корне отличным ото всех вариантов обширной группы моделей, основанных на алгоритме Л. Йохансена [16]. Данные для этих и наших моделей берутся из матриц социальных счетов и таблиц «затраты – выпуск». Сами же многочисленные модели указанной группы разрабатываются в отношении экономик странового, субглобального и глобального уровней.

В качестве примера можно сослаться на работу [17], в которой представлена многоотраслевая модель экономического роста экономики Австралии, известная как модель ORANI; работу [18], содержащую модель статистической базы данных стран мира для реализации проекта Global trade analysis project (GTAP); работы [19, 20], представляющие широко известную Мичиганскую модель мирового производства и торговли для оценки экономики США по 27 секторам, модель проекта GTAP; работу [21], содержащую модель MIRAGE Всемирного банка и Французского центра исследований мировой экономики (CEPII), позволяющую получать количественные оценки эффективности экономик от странового уровня до глобального при использовании баз данных GTAP [22], CEPII, ООН, МВФ и др.

Наше дополнение и расширение CGE-моделей состоит в построении гибридной модели, объединяющей CGE и динамический МОБ, что предлагается впервые. Собственно говоря, можно не ограничиваться CGE, а расширить множество претендентов на комплексирование за счет всех агент-ориентированных моделей [23], в том числе исследующих динамику пространственной структуры экономики [24]. Наш МОБ представляет собой систему $n + m$ уравнений [25], из которых n

являются дифференциальными, а m – алгебраическими, то есть матрица B имеет нулевые строки при $m \neq 0$:

$$BpX(t) + AX(t) + Y(t) = X(t), X(0) = X_0, \quad (2)$$

где B – матрица коэффициентов приростных фондоемкостей;

X – вектор валовых выпусков по ВЭД;

p – оператор дифференцирования по времени ($p = d/dt$);

A – технологическая матрица коэффициентов прямых производственных затрат;

Y – вектор конечного спроса.

Динамический МОБ формализуется задачей Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений (2). Анализ этой задачи, приведенный далее, позволяет видеть, что проблема исследования структурной устойчивости экономики как системы тесно связана с понятиями ее собственных, а это значит внутренних динамических свойств (СДС). К числу этих свойств относятся такие вычислимые характеристики, как частоты колебательных (циклических) движений, декременты и инкременты всех движений, их чувствительность, наблюдаемость, управляемость и возбуждаемость в ВЭД.

Приведение модели (2) к нормальной форме путем замыкания модели по потреблению показано, например, в работе [15]. Мы не будем этого повторять, а сразу запишем результат в виде

$$pX_1 = GX_1, X_1(0) = X_{10}, \quad (3)$$

где X_1 вектор размерности n (подвектор вектора X), представляющий интегрируемые переменные системы;

G – квадратная ($n \times n$) матрица состояния, собственные значения и векторы которой однозначно характеризуют структурные СДС экономики.

При этом надо понимать, что «хорошие» СДС не гарантируют экономического роста автоматически, на то нужна воля и совершенство ЛПР в экономике на федеральном и региональном уровнях [26, 27].

На сайте Росстата во вкладке «Национальные счета» представлены базовые таблицы «затраты – выпуск» России за 2011 г. В координатах «продукт – продукт» размерность симметричных таблиц составляет 126 на 126, что уже позволяет получить достаточно полные представления о СДС российской экономики. Численные показатели последних расширяют информационные и аналитические возможности CGE-моделей, делают их применение более или менее объективным в зависимости от выполнения необходимых условий устойчивости, связанных с

наличием или отсутствием потенциала экономического роста. Указанные показатели позволяют решать проблемы:

- определения степени технологического экономического роста/спада в экономике;
- анализа структуры экономических циклов в валовых выпусках по ВЭД и их наблюдаемости в ВЭД, в том числе определения компонент движения в качестве локальных или общесистемных для оценки их значимости для экономики в целом;
- идентификации ВЭД, шоки в которых порождают движения с такими амплитудами, которые становятся существенными с точки зрения технологической устойчивости экономики как системы;
- анализа отдельных форм движения в фиксированном ВЭД;
- наблюдения в различных ВЭД составляющих движения при фиксированном возмущенном ВЭД;
- эффективности управления степенью экономического (только технологического) роста и другими движениями со стороны различных параметров и сигналов управления.

Будем считать, что среди собственных чисел матрицы G модели (3) нет совпадающих, то есть G – матрица простой структуры. Тогда составляющая решения (3) с номером j представляется как

$$x^{(j)}(t) = d_1 u_1^{(j)} e^{\lambda_1 t} + \dots + d_n u_n^{(j)} e^{\lambda_n t}, \\ j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Здесь λ_i , U_i , $i = 1, 2, \dots, n$ – собственные значения и соответствующие им правые собственные векторы матрицы G модели (3). Коэффициенты d_i определяются левыми собственными векторами V_i , $i = 1, 2, \dots, n$ матрицы G и начальными условиями нашей задачи Коши X_{10} по формуле

$$d_i = V_i^T X_{10}. \quad (5)$$

Поскольку собственные векторы, как известно, вычисляются с точностью до постоянного множителя, то их нормируют на единицу, кроме того V_i , U_i , $i = 1, 2, \dots, n$ ортогональны друг другу, так что

$$V_i^T U_j = 0 \text{ для } i \neq j, V_i^T U_j = 1 \text{ для } i = j. \quad (6)$$

Вещественные части собственных чисел характеризуют затухания или рост амплитуд движений в системе, а мнимые в комплексно-сопряженных парах

собственных чисел – частоты деловых циклов. Именно λ_i и соответствующие им собственные векторы выступают в качестве общепризнанных показателей, на основе которых проводится анализ статической устойчивости линейных и линеаризованных систем, к которым относится МОБ в виде (2) и (3).

Однократный расчет λ_i рекомендуется как для анализа устойчивости, так при изменении параметров МОБ, которые могут моделировать как неопределенности в исходных данных, так и структурные сдвиги. Мы, в отличие от классики естественных и технических наук, устойчивой будем считать экономику, обладающую потенциалом экономического роста. Формально это устанавливается наличием в спектре положительного собственного числа и соответствующего ему положительного собственного вектора [28].

Как следует из формулы (4), составляющие движения с экспонентами $e^{\lambda_i t}$ могут иметь различную представимость (наблюдаемость) в валовых выпусках. Это определяется компонентами собственных векторов и начальными значениями задачи Коши. Например, если $u_i^{(k)} = 0$, то в выпуске ВЭД с номером k составляющая $e^{\lambda_i t}$ вовсе наблюдаться не будет.

Если вычислить отношения компонент собственных векторов

$$\delta_i^{(l,k)} = \frac{|u_i^{(l)}|}{|u_i^{(k)}|}, \quad (7)$$

то это позволит видеть, во сколько раз компонента движения с экспонентой $e^{\lambda_i t}$ в ВЭД с номером l наблюдается сильнее, чем в ВЭД с номером k . Важно, что отношение (7) не зависит от начальных значений выпусков. Оно отражает внутренние, структурные свойства экономики, что поясняет введение термина «собственные динамические свойства» (СДС).

Отношения (7) измеряют системные свойства составляющей $e^{\lambda_i t}$, позволяя определить число ВЭД, в котором она имеет высокую наблюдаемость. Тогда составляющие движения можно классифицировать как общесистемные или локальные. При этом для выполнения численных расчетов надо в качестве $u_i^{(k)}$ принять максимальный элемент вектора U_i , задать пороговое значение $\delta_0 < 1$ для частных (7), и вычислить все эти отношения.

Если окажется, что число отношений (7), удовлетворяющих неравенству

$$|\delta_i^{(l,k)}| > \delta_0, \quad (8)$$

велико, то составляющая с $e^{\lambda_i t}$ признается значимой для всей экономики, носит общесистемный характер. В противном случае движение с $e^{\lambda_i t}$ локально, но в числе ВЭД, где оно проявляется, присутствует $x^{(k)}(t)$.

Частное (7) инвариантно в отношении места и вида шока в экономической системе иных внешних условий, но обусловлено исключительно внутренними структурными свойствами системы. Если выбрать

$$u_i^{(k)} = \max(u_i^{(q)}), \quad q = \overline{1, n}$$

и раскрыть модули в формуле (7), то получим

$$\frac{u_i^{(l)}}{u_i^{(k)}} = d_i^{(l)} e^{j\varphi_l}, \quad j = \sqrt{-1}, \quad (9)$$

где $d_i^{(l)}$ и φ_l – модуль и фаза от деления в общем случае одного комплексного числа на другое.

Модули (амплитуды) отношений (9) являются элементами векторов наблюдаемости

$$\Delta_i = (\delta_i^{(1)}, \delta_i^{(2)}, \dots, \delta_i^{(n)})^T.$$

Эти векторы нормированы (имеют максимальный элемент $\delta_i^{(k)} = 1$), значит в выпуске $x_k(t)$ движение с номером i будет иметь максимальную амплитуду. При этом ясно, что если большое число элементов вектора Δ_i по величине соизмеримо с 1, то составляющую с $e^{\lambda_i t}$ следует отнести к общесистемным, и наоборот, малые величины элементов Δ_i говорят о локальности такого движения.

Векторы фаз $\Phi_i = (\varphi_i^{(1)}, \varphi_i^{(2)}, \dots, \varphi_i^{(n)})^T$, которые отсчитываются от фазы движения $x_k(t)$, позволяют видеть как распределены формы движений в выпуске $X_1(1)$.

Для расчета можно предложить также показатели наблюдаемости, определяемые формулой

$$\eta_i = \frac{n_i}{n} 100\%, \quad (10)$$

где n_i – число ВЭД, удовлетворяющих условию типа (8), то есть $\delta_i^{(j)} > \delta_0$, $j = 1, \dots, n$.

Реализация инвестиционных проектов, особенно крупных, ведет к структурным сдвигам в экономике и в параметрах моделей (2) и (3), формально формируя сигнал управления СДС. Кроме того, в современной российской экономике мы наблюдаем управление конечным спросом домашних хозяйств в целях таргетирования инфляции. В печати и СМИ пятый год обсуждается тема сокращения реально располагаемых доходов населения и сжатия спроса.

В данном случае мы упоминаем об этом исключительно для постановки на теоретическом уровне задачи исследования управляемости СДС со стороны тех или иных сигналов. Хорошая управляемость СДС тоже образует фактор, поддерживающий CGE-моделирование. Ведь с учетом того, что экономика вообще-

то неравновесная система, безусловное и безальтернативное применение CGE неправомерно. Корректность его использования всегда нуждается в обосновании и поддержке.

Положим, что параметры управления образуют вектор Y с элементами $y_j, j = 1, 2, \dots, k$, а нас интересует функция чувствительности собственных значений λ_i от параметров y_j . Из линейной алгебры известно, что

$$GU_i = \lambda_i G_i. \quad (11)$$

Дифференцируя выражение (11) по y_j , получим:

$$\frac{\partial G}{\partial y_j} U_i + G \frac{\partial U_i}{\partial y_j} = \frac{\partial \lambda_i}{\partial y_j} U_i + \lambda_i \frac{\partial U_{ii}}{\partial y_j}, \quad (12)$$

а предварительно умножив (12) слева на V_i^T , запишем его в следующем виде:

$$\begin{aligned} V_i^T \frac{\partial G}{\partial y_j} U_i &= \frac{\partial \lambda_i}{\partial y_j} V_i^T U_i - \\ &- (V_i^T G - \lambda_i V_i^T) \frac{\partial U_i}{\partial y_j}. \end{aligned} \quad (13)$$

В паре с (11) в литературе по линейной алгебре часто пишут равенство $V_i^T G = \lambda_i V_i^T$, которое следует из равенства $G^T V_i = \lambda_i V_i$. Это обнуляет второе слагаемое в правой части (13), приводя его к виду

$$V_i^T \frac{\partial G}{\partial y_j} U_i = \frac{\partial \lambda_i}{\partial y_j} V_i^T U_i. \quad (14)$$

Выражение (14) определяет искомую формулу для чувствительности, которая содержится и в работе [29]:

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial y_j} = \frac{V_i^T \frac{\partial G}{\partial y_j} U_i}{V_i^T U_i}, \quad (15)$$

где производная может быть вычислена численным дифференцированием:

$$\frac{\partial G}{\partial y_j} \approx \frac{G(y_j + \Delta y_j) - G(y_j)}{\Delta y_j}. \quad (16)$$

Формулы (15), (16) дополняют возможности CGE-моделирования в части оценки эффективности управления собственными (структурными) динамическими свойствами экономических систем. При этом вариация индекса i в формуле (15)

позволяет определить влияние параметра y_j на различные составляющие движения, в том числе на величину степени технологического экономического роста.

Показатели наблюдаемости характеризуют относительные амплитуды движений в экономике. Об абсолютных движениях они не содержат информации. Это потому, что первые инвариантны в отношении места и вида возмущений и являются показателями СДС, а вторые от этих шоков зависят. Отметим, что в модели (2) шокам, соответствующим внезапным изменениям, могут быть подвержены только неинтегрируемые переменные, так как интегрируемые физически не могут меняться скачком. Со временем такое возмущение распространяется по всей системе, и его начинают испытывать интегрируемые переменные.

Переходя к рассмотрению абсолютных значений амплитуд движений, рассмотрим такую идеализацию, когда в векторе X_{10} содержится только одна ненулевая и равная единице компонента с номером k , что упростит анализ. Тогда из формулы (5) имеем

$$d_i = V_i^T X_{10} = v_i^{(k)}. \quad (17)$$

Ясно, что в выпуске $x^{(j)}(t)$ движение с экспонентой $e^{\lambda_j t}$ будет иметь амплитуду

$$d_i u_i^{(j)} = v_i^{(k)} u_i^{(j)}. \quad (18)$$

Из формулы (18) следует, что амплитуда i -й составляющей зависит от того, в какой фазовой переменной наблюдается возмущение. В нашем идеальном случае амплитуда пропорциональна k -й компоненте i -го левого собственного вектора $v_i^{(k)}$. Иными словами, если возмущения доходят до интегрируемых переменных, то для движения с экспонентой $e^{\lambda_j t}$ в j -м ВЭД компоненты собственного вектора транспонированной матрицы состояния V_i есть показатели величин возбуждаемых амплитуд. Как и в случае с наблюдаемостью, можно ввести понятие коэффициента возбуждаемости движения с составляющей $e^{\lambda_j t}$. При возмущении переменной $x^{(i)}$ отношение

$$\gamma_i^{(j)} = \frac{\left| \frac{v_i^{(j)} u_i^{(j)}}{v_i^{(k)} u_i^{(j)}} \right|}{\left| \frac{v_i^{(j)}}{v_i^{(k)}} \right|}, \quad (19)$$

где $v_i^{(k)} = \max(v_i^{(l)})$, $l = 1, \dots, n$, называется коэффициентом возбуждаемости движения с $e^{\lambda_j t}$ при возмущении в ВЭД с номером j . Сама i -я составляющая движения с точки зрения ее значимости для системы в целом может характеризоваться вектором коэффициентов возбуждаемости $\Gamma_i = (\gamma_i^{(1)}, \gamma_i^{(2)}, \dots, \gamma_i^{(n)})^T$. Этот вектор, как и вектор коэффициентов наблюдаемости, нормирован на единицу.

Обратим внимание на то, что элементы векторов Δ_i и Γ_i связаны с конкретными ВЭД модели МОБ. Оба вектора показывают системную значимость ВЭД с точки зрения наблюдаемости и возбуждаемости в них i -й составляющей движения. Нулевые компоненты векторов Δ_i и Γ_i , например, с номерами $p, l, \dots$, говорят о том, что

движение с экспонентой $e^{\lambda_i t}$ будет отсутствовать в ВЭД с этими номерами, а возмущения в ВЭД $p, l \dots$ не возбуждают движения с $e^{\lambda_i t}$.

Наша идеализация начальных условий хорошо поясняет физический и технологический смысл вектора Γ_i . Его компонента с номером p показывает долю амплитуды i -й составляющей движения, которая возбудится при возмущении в выпуске ВЭД x_j от шока в ВЭД с номером k , имеющего максимальную амплитуду.

Таким образом, комплекс моделей CGE-МОБ, представляющий их новый класс, естественным образом предназначен для анализа экономической динамики и шоков в реальных экономических системах, имеющих различную природу (перемена экономической политики от ЛПР, инвестиционные и санкционные усилия, шоки спроса и предложения и тому подобные факторы).

Ясно, что реальные шоки отличаются от рассмотренного идеализированного случая – шоки наблюдаются практически во всех ВЭД. Однако расчеты, выполненные на условных примерах различной размерности, позволяют видеть предполагаемое: наибольшие возмущения начальных значений выпусков наблюдается в тех ВЭД, которые имеют наиболее сильные межотраслевые связи с возмущаемой. При этом спектр собственных значений позволяет видеть аperiodические и циклические движения.

Идеализированные возмущения полезны для представленной ранее схемы аналитического исследования, которое представляет вектор коэффициентов возбуждаемости в качестве ранжирующего виды экономической деятельности сложной экономической системы с точки зрения вероятности возникновения в них тех или иных форм движения.

Кроме того, показатели СДС дают возможность наблюдения в отдельных ВЭД всего комплекса движений, доступных для описания в динамическом МОБ. Положим, что выпуск $x^{(k)}(t)$ представляется практически важным с точки зрения целей конкретного анализа. Отвлечемся от экономической природы МОБ, будем видеть только систему дифференциальных уравнений и, как ранее, примем тот же идеализированный вектор начальных условий X_{10} . Положим, что единичное значение в этом векторе имеет только одна переменная. Решение для выбранной переменной записывается аналогично (4) и имеет следующий вид:

$$x^{(k)}(t) = d_1 u_1^{(k)} e^{\lambda_1 t} + d_2 u_2^{(k)} e^{\lambda_2 t} + \dots + d_n u_n^{(k)} e^{\lambda_n t}. \quad (20)$$

В соответствии с правилами анализа переходных процессов рассмотрим решение в момент времени, примыкающий к моменту появления возмущения справа – это момент $t = +0$:

$$x^{(k)}(0) = d_1 u_1^{(k)} + d_2 u_2^{(k)} + \dots + d_n u_n^{(k)}. \quad (21)$$

Заметим, что в сумме (21) действительному собственному значению отвечает одно слагаемое, а комплексно-сопряженной паре – два. Это значит, что для нашего идеализированного возмущения амплитуда компоненты движения с номером p и действительного собственного значения i матрицы состояния амплитуда равна

$$A_{\text{абс } i} = \left| d_i u_i^{(k)} \right| = \left| v_i^{(p)} u_i^{(k)} \right|, \quad (22)$$

а для комплексно-сопряженной пары собственных значений

$$\begin{aligned} A_{\text{абс } i} &= \left| d_i u_i^{(k)} \right| + \left| d_{i+1} u_{i+1}^{(k)} \right| = \\ &= \left| v_i^{(p)} u_i^{(k)} \right| + \left| v_{i+1}^{(p)} u_{i+1}^{(k)} \right|. \end{aligned} \quad (23)$$

Формулы (22) и (23) получены с учетом (18). Вектор Γ_i позволяет видеть ВЭД, возмущение в которой порождает максимальные амплитуды i -й составляющей движения. Они также определяются по формулам (22) и (23), а по величине могут превосходить иницирующее их единичное возмущение.

Можно также вычислять нижнюю оценку относительных амплитуд. Например, если $A_{\text{абс } i}$ есть максимальная амплитуда, то формула

$$A_{\text{отн } i} = \frac{A_{\text{абс } i}}{\sum_{j=1}^n \left| d_j u_j^{(k)} \right|} 100\% \quad (24)$$

определяет ее значение относительно других амплитуд движений.

Итак, наше идеализированное возмущение по переменной p ведет к тому, что коэффициенты $d_1, d_2, \dots, d_n$ в общем решении (20) становятся равными элементам левого собственного вектора $v_1^{(p)}, v_2^{(p)}, \dots, v_n^{(p)}$ соответственно. В этом случае ВЭД с максимальной амплитудой движения с экспонентой $e^{\lambda_i t}$ устанавливается с помощью вектора Δ_i . Если такой ВЭД установлен, то амплитуды i -й составляющей движения вычисляются по формулам (22) и (23) для действительных и комплексных собственных значений соответственно.

Комплекс показателей СДС можно дополнить таким, как фактор участия движения с $e^{\lambda_i t}$ в выпуске ВЭД с номером k

$$p_i^{(k)} = v_i^{(k)} u_i^{(k)}, \quad (25)$$

вычисляемым как произведения компонент собственных векторов, которые, как известно, нормированы на единицу и потому

$$V_i^T U_i = \sum_{k=1}^n v_i^{(k)} u_i^{(k)} = \sum_{k=1}^n p_i^{(k)} = 1. \quad (26)$$

Название показателя (25) говорит о том, что он определяет степень участия движения с $e^{\lambda_i t}$ в выпуске отдельного ВЭД. Очевидно, что при идеализированном возмущении $x^{(k)}(0) = 1$ фактор участия (25) равен амплитуде составляющей с $e^{\lambda_i t}$ в выпуске ВЭД с номером k в момент времени $t = +0$.

Этот же показатель может быть использован для оценки управляемости собственным числом со стороны параметров модели МОБ и, таким образом, является одной из характеристик СДС экономики.

Оценить возможность управления i -м движением можно вычислением индекса управляемости:

$$c_i = \sum_j \left| \frac{\partial \alpha_i}{\partial y_j} \right|, \quad (27)$$

который, как следует из (27), представляет собой сумму абсолютных значений коэффициентов чувствительности (15), изменяемых за счет вариации элементов вектора параметров системы y_i .

Завершая изложение теории СДС, отметим, что показатели получены на основе динамической модели МОБ, имеющей структурный характер по своей природе. Гарантии того, что экономика будет работать и развиваться в соответствии со своими СДС не существует – слишком много факторов неопределенности имеет место быть в современном мире. Важнейшие из них – высокая политизация экономической жизни и предпочтения лиц, принимающих решения в стране. Именно последние должны точно знать, что только макроэкономической стабильности и низкой инфляции совершенно недостаточно для перехода к магистральным темпам экономического роста, которые, кстати, тоже моделируются, воспроизводятся и оптимизируются на основе динамических МОБ.

Гибрид CGE-МОБ являет новый класс макроэкономических моделей, качественно расширяющий множество информационно-аналитических возможностей обеих половин, образующих комплекс. Половины дополняют и модифицируют друг друга так, что это с полным основанием позволяет выявить свойство эмерджентности указанного комплекса. С одной стороны, множество возможностей CGE прирастает показателями СДС экономических систем, инструментарием исследования структурной устойчивости и обеспечения оценок объективности результатов моделирования. С другой стороны, можно сказать, что межотраслевой анализ приобретает богатый аппарат исследования эффективности всех сторон экономической политики.

Слабостью модели (2) является не зависящая от нас ситуация, в соответствии с которой Росстат не разрабатывает матрицу B модели (2) – матрицу коэффициентов приростных фондоемкостей. Нам путем публикации данной статьи хотелось бы

побудить его выполнять такую работу, включить матрицу B в состав ТЗВ. Это не пустая идея. Например, в работе [13, с. 220] начинается параграф, содержащий методику разработки такой матрицы в США еще в 1940-х гг. А в «Экономических эссе» В. Леонтьев, приводя выражение (2), прямо указывает на наличие матриц B для американской экономики.

Отечественное невнимание к матрице B объясняется тем, что форма записи модели МОБ в виде (2) до сих пор признается отечественными экономистами как «чисто теоретическая», не интересная в практическом смысле, но еще и тем, что статистике пришлось бы приложить большие усилия для ее разработки, чем для генерации матрицы A той же модели. Нам приходилось проявлять изобретательность и настойчивость, чтобы получить удовлетворительное приближение B , имея в виду, что ее элементы физически характеризуют межотраслевые инерционности, а затем «откалибровать» модель, как это делают в случаях с CGE. Изложение методики синтеза матрицы B нам предстоит в отдельной публикации.

В заключение отметим, что данное исследование не претендует на полноту численного анализа. Для этого потребуется отдельная статья с комплексом таблиц, с графиками и их анализом при различных сценариях. Такая работа в наших ближайших планах. Поэтому в данном случае в табл. 1, 2 мы выбрали для представления только один фрагмент расчетов за 2015 г. с использованием данных статистического сборника «Национальные счета России в 2011–2016 годах», опубликованного Росстатом в 2017 г.

Представленный результат даже безо всякого соединения с CGE-моделированием, говорит о том, что чисто технологических надежд на экономический рост в этом году не было. Скажем так, не появились они и в следующие три года. О практически нулевой степени экономического роста говорит λ_3 из табл. 2. При этом корни λ_1 , λ_2 не в счет – соответствующие им собственные векторы имеют отрицательные компоненты. К модели мы применяли собственные процедуры эквивалентирования (агрегирования), которые еще ждут своего опубликования. А что же с экономическим ростом? Каковы надежды? Ответим так: экономический прорыв России должен начинаться с проведения структурных реформ и срочной организации масштабных производственных инвестиций по этому поводу. Ясно, что без смены вектора экономической политики приросты затрат на прорыв обещают превзойти приросты ВВП, а это не имеет экономического смысла. И понятно, что под инвестиционными процессами мы понимаем вложения в реальный сектор экономики и ожидание последующих дивидендов, а не деятельность когорты биржевых спекулянтов, деньги которых перемещаются по всему миру в поисках мгновенной прибыли.

Таблица 1**Основные параметры калибровки модели****Table 1****The main parameters of model calibration**

Раздел	Наименование	Выпуск 2015 г., млн руб.	Относительная погрешность определения выпуска, %	ВВП 2015 г., млн руб.	Относительная погрешность расчета ВВП, %
D	Обрабатывающие производства	36 358 079	7,8	10 294 120,2	6,4
E	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	7 246 828,5	5,3	2 222 630,2	5,8
F	Строительство	10 032 455,6	6,8	4 780 296,4	7,1
G	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	20 354 915,5	7,2	12 273 508,3	5,5
J	Финансовая деятельность	4 226 121,9	4,7	2 920 540,5	6,3
K	Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	18 040 813,3	5,1	12 975 387,3	2,5
O	Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	2 141 036,1	3,6	1 247 472,8	3

Источник: Росстат*Source:* The Rosstat data

Таблица 2**Спектр собственных чисел и соответствующие им векторы замкнутой модели****Table 2****Eigenvalue spectrum and corresponding vectors of a closed model**

$\lambda_1 = 0,38$	$\lambda_2 = 0,21$	$\lambda_3 = 0,18 \cdot 10^{-4}$	$\lambda_4 = -0,13$	$\lambda_5 = -0,34$	$\lambda_{6,7} = -1,04 \pm 1,69i$
0,609	0,687	0,436	-0,662	-0,587	-0,607 $\pm$ 0,056i
0,096	0,015	0,168	-0,198	0,669	-0,052 $\pm$ 0,031i
-0,384	-0,529	0,104	-0,06	-0,128	-0,001 $\pm$ 0,005i
-0,628	-0,418	0,316	-0,076	-0,216	-0,123 $\pm$ 0,021i
0,258	0,252	0,448	0,254	0,31	0,016 $\pm$ 0,068i
0,102	0,068	0,501	0,647	0,151	-0,007 $\pm$ 0,006i
-0,035	-0,071	0,468	0,171	-0,16	0,777

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакишин С.С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
2. Медведев Д.А. Социально-экономическое развитие России: обретение новой динамики // Вопросы экономики. 2016. № 10. С. 5–30.
URL: <http://www.vopreco.ru/rus/redaction.files/10-16.pdf>
3. Красс И.А. Математические модели экономической динамики. М.: Советское радио, 1976. 279 с.
4. Изотов Д.А. Эмпирические модели общего экономического равновесия // Пространственная экономика. 2014. № 3. С. 138–167.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/empiricheskie-modeli-obshchego-ekonomicheskogo-ravnovesiya>
5. Bajo-Rubio O., Gómez-Plana A.G. Simulating the Effects of the European Single Market: A CGE Analysis for Spain. *Journal of Policy Modeling*, 2005, vol. 27, iss. 6, pp. 689–709. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2005.05.005>
6. Nobuhiro Hosoe. The Deregulation of Japan's Electricity Industry. *Japan and the World Economy*, 2006, vol. 18, iss. 2, pp. 230–246.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.japwor.2004.07.002>
7. Dixon P.B., Rimmer M.T. The US Economy from 1992 to 1998: Historical and Decomposition Simulations with the USAGE Model. *Monash University Centre of Policy Studies Working Paper*, 2003, no. G-143, 51 p.
URL: <http://www.copsmodels.com/ftp/workpapr/g-143.pdf>
8. Xinshen Diao, Shenggen Fan, Xiaobo Zhang. China's WTO Accession: Impacts on Regional Agricultural Income – A Multi-Region, General Equilibrium Analysis.

- Journal of Comparative Economics*, 2003, vol. 31, iss. 2, pp. 332–351.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0147-5967\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0147-5967(03)00020-9)
9. *Jacoby H.D., Reilly J.M., McFarland J.R., Paltsev S.* Technology and Technical Change in the MIT EPPA Model. *Energy Economics*, 2006, vol. 28, iss. 5-6, pp. 610–631. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.014>
 10. *Lloyd P.J., MacLaren D.* Measures of Trade Openness Using CGE Analysis. *Journal of Policy Modeling*, 2002, vol. 24, iss. 1, pp. 67–81.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0161-8938\(01\)00096-5](https://doi.org/10.1016/S0161-8938(01)00096-5)
 11. *Ельшин Л.А.* Методические подходы к прогнозированию промышленного развития на основе построения ожиданий экономических агентов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. Вып. 11. С. 2028–2042.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.11.2028>
 12. *Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Усачев Д.Г., Шустова М.Н.* Генезис понятия «устойчивое развитие экономических систем различных иерархических уровней» // *Региональная экономика: теория и практика*. 2015. № 48. С. 2–14.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/genezis-ponyatiya-ustoychivoe-razvitie-ekonomicheskikh-sistem-razlichnyh-ierarhicheskikh-urovney>
 13. *Leontief W. et al.* *Studies in the Structure of the American Economy*. New York, Oxford University Press, 1953, 640 p. URL: <https://doi.org/10.1002/nav.3800010216>
 14. *Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Конышков А.С.* Устойчивое развитие: оценка, анализ, прогнозирование // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. Вып. 12. С. 2392–2406. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2392>
 15. *Дужински Р.Р., Торопцев Е.Л., Мараховский А.С.* Объединение информационно-аналитических возможностей равновесных и динамических межотраслевых моделей // *Экономический анализ: теория и практика*. 2018. Т. 17. Вып. 4. С. 736–753. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.4.736>
 16. *Johansen L.* *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. Amsterdam, North Holland, 1974, 274 p.
 17. *Kawai M., Wignaraja G.* Asian FTAs: Trends, Prospects, and Challenges. ADB. *Economics Working Paper Series*, 2010, no. 226, 44 p.
URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1721911>
 18. *Van der Mensbrugghe D.* The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2018, vol. 3, iss. 1, pp. 1–83.
URL: <http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>

19. Minor P., Walmsley T. MyGTAP Data Program: A Program for Customizing and Extending the GTAP Database. *GTAP Working Paper*, 2013, no. 79.
URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6660.pdf>
20. Walmsley T.L., Dimaranan B.V., McDougall R.A. A Base Case Scenario for the Dynamic GTAP Model, 2000.
URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1271.pdf>
21. Bchir M.H., Decreux Y., Guérin J.L., Jean S. MIRAGE, A Computable General Equilibrium Model for Trade Policy Analysis. *CEPII, Working Paper*, no. 2002-17.
URL: http://www.cepii.fr/PDF_PUB/wp/2002/wp2002-17.pdf
22. Ianchovichina E., Nicita A., Soloaga I. Trade Reform and Household Welfare: The Case of Mexico. *World Bank Policy Research Working Paper*, 2001, no. 2667.
URL: <https://ssrn.com/abstract=632735>
23. Johansson A. et al. Looking to 2060: Long-term Global Growth Prospects: A Going for Growth Report. OECD Publishing, 2012, no. 3.
URL: <http://www.oecd.org/eo/outlook/2060%20policy%20paper%20FINAL.pdf>
24. Dawid H., Harting P. Capturing Firm Behavior in Agent-Based Models of Industry Evolution and Macroeconomic Dynamics. In: Buenstorf G. (ed.). *Evolution, Organization and Economic Behaviour*. Ch. 6. Edward Elgar Publishing, 2012.
URL: <https://doi.org/10.4337/9780857930897.00014>
25. Леонтьев В.В. Экономическое эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Политическая литература, 1990. 416 с.
26. Черешнев В.А., Чистова Е.В. Выявление региональных особенностей старения населения России // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. Вып. 12. С. 2206–2223.
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2206>
27. Баранова Н.М., Сорокин Л.В. Влияние человеческого капитала на устойчивое развитие экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. 2017. Т. 16. Вып. 12. С. 2224–2237. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2224>
28. Glazyev S., Ajvazov A., Belikov V. The Future of the World Economy is an Integrated World Economic Structure. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2018, vol. 14, no. 1, pp. 1–12. URL: http://economyofregion.ru/Data/Issues/ER2018/March_2018/ERMarch2018_1_12.pdf (In Russ.)
29. Уилкинсон Дж.Х. Алгебраическая проблема собственных значений. М.: Наука, 1970. 564 с.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-4484
eISSN 2311-8768

Mathematical Analysis and Modeling in Economics

THEORETICAL FRAMEWORK FOR A SET OF EQUILIBRIUM AND INPUT-OUTPUT MODELS DEVELOPMENT

Evgenii L. TOROPTSEV ^{a,*},

Aleksandr S. MARAKHOVSKII ^b,

Ramziya R. DUSZYNSKI ^c

^a North-Caucasus Federal University (NCFU),
Stavropol, Russian Federation
eltoroptsev@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4036-6002>

^b Sole Proprietor,
Stavropol, Russian Federation
marahov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2248-8425>

^c National Louis University, College of Arts and Sciences,
Chicago, Illinois, USA
ramzia@aol.com
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 839/2018
Received 14 Nov 2018
Received in revised form
28 November 2018
Accepted 11 January 2019
Available online
29 November 2022

JEL classification: B41,
C02, C61, C68

Keywords: structural
stability, CGE model,
Computable General
Equilibrium model,
input-output balance,
aggregation

Abstract

Subject. The article addresses the theoretical framework for developing a new class of models having advanced information and analytical capabilities that are based on equilibrium and input-output models.

Objectives. We aim to determine theoretical and practical constraints of efficient use of equilibrium models to analyze the economic policy effectiveness, identify relevant components of the vector of the country's economic prospects, substantiate the creation of a set of equilibrium and input-output models for an adequate analysis of the modern Russian economy.

Methods. The study employs the tenets of neoclassical economics, the agent-based and equilibrium modeling, and the systems and input-output analysis.

Results. We managed to combine the best qualities in the set that forms a new class of macroeconomic models. The integrated set has the emergence property and demonstrates a synergistic effect, whereas earlier these components competed with each other in order to 'capture' the modeling market. The creation of the sets under consideration is logical, as rivals and competitors are worse than allies, and the components of the set have common variables, use input-output tables for digitization, rely on the principle of balance, and are computable.

Conclusions. The equilibrium and input-output models are relatives in terms of the source of origin, and the former should not push aside the latter in the struggle for 'leadership' in the modeling market.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

Please cite this article as: Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S., Duszynski R.R. Theoretical Framework for a Set of Equilibrium and Input-Output Models Development. *Financial Analytics: Science and Experience*, 2022, vol. 15, iss. 4, pp. 464–490.
<https://doi.org/10.24891/fa.15.4.464>

Acknowledgments

The article was adapted from the *Economic Analysis: Theory and Practice* journal, 2019, vol. 18, iss. 3.

References

1. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sulakshin S.S. *Primenenie vychislimykh modelei v gosudarstvennom upravlenii* [Applying computable models in public administration]. Moscow, Nauchnyi ekspert Publ., 2007, 304 p.
2. Medvedev D.A. [Social and economic development of Russia: Finding new dynamics]. *Voprosy Ekonomiki*, 2016, no. 10, pp. 5–30.
URL: <http://www.vopreco.ru/rus/redaction.files/10-16.pdf> (In Russ.)
3. Krass I.A. *Matematicheskie modeli ekonomicheskoi dinamiki* [Mathematical models of economic dynamics]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1976, 279 p.
4. Izotov D.A. [Empirical models of general economic equilibrium]. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*, 2014, no. 3, pp. 138–167.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/empiricheskie-modeli-obschego-ekonomicheskogo-ravnovesiya> (In Russ.)
5. Bajo-Rubio O., Gómez-Plana A.G. Simulating the Effects of the European Single Market: A CGE Analysis for Spain. *Journal of Policy Modeling*, 2005, vol. 27, iss. 6, pp. 689–709. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2005.05.005>
6. Nobuhiro Hosoe. The deregulation of Japan's electricity industry. *Japan and the World Economy*, 2006, vol. 18, iss. 2, pp. 230–246.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.japwor.2004.07.002>
7. Dixon P.B., Rimmer M.T. The US Economy from 1992 to 1998: Historical and Decomposition Simulations with the USAGE Model. *Monash University Centre of Policy Studies Working Paper*, 2003, no. G-143, 51 p.
URL: <http://www.copsmodels.com/ftp/workpapr/g-143.pdf>
8. Xinshen Diao, Shenggen Fan, Xiaobo Zhang. China's WTO Accession: Impacts on Regional Agricultural Income – A Multi-Region, General Equilibrium Analysis. *Journal of Comparative Economics*, 2003, vol. 31, iss. 2, pp. 332–351.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0147-5967\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0147-5967(03)00020-9)
9. Jacoby H.D., Reilly J.M., McFarland J.R., Paltsev S. Technology and Technical Change in the MIT EPPA Model. *Energy Economics*, 2006, vol. 28, iss. 5-6, pp. 610–631. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.014>

10. Lloyd P.J., MacLaren D. Measures of Trade Openness Using CGE Analysis. *Journal of Policy Modeling*, 2002, vol. 24, iss. 1, pp. 67–81.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0161-8938\(01\)00096-5](https://doi.org/10.1016/S0161-8938(01)00096-5)
11. El'shin L.A. [Methodological approaches to forecasting the industrial development based on the simulation of economic agents' expectations]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, iss. 11, pp. 2028–2042. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.11.2028>
12. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Usachev D.G., Shustova M.N. [Genesis of the concept of sustainable development of economic systems of various hierarchical levels]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, 2015, no. 48, pp. 2–14.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/genezis-ponyatiya-ustoychivoe-razvitiye-ekonomicheskikh-sistem-razlichnyh-ierarhicheskikh-urovney> (In Russ.)
13. Leontief W. et al. *Studies in the Structure of the American Economy*. New York, Oxford University Press, 1953, 561 p.
URL: <https://doi.org/10.1002/nav.3800010216>
14. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Konyshkov A.S. [Sustainable development: Evaluation, analysis, forecasting]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, iss. 12, pp. 2392–2406. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2392>
15. Duszynski R.R., Toroptsev E.L., Marakhovskii A.S. [Integration of information and analytical opportunities of equilibrium and dynamic input-output models]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 4, pp. 736–753. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.17.4.736>
16. Johansen L. *A Multi-sectoral Study of Economic Growth*. Amsterdam, North Holland, 1964, 274 p.
17. Kawai M., Wignaraja G. Asian FTAs: Trends, Prospects, and Challenges. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*, 2010, no. 226, 44 p.
URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1721911>
18. Van der Mensbrugghe D. The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, 2018, vol. 3, iss. 1, pp. 1–83.
URL: <http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>

19. Minor P., Walmsley T. MyGTAP Data Program: A Program for Customizing and Extending the GTAP Database. *GTAP Working Paper*, 2013, no. 79.
URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6660.pdf>
20. Walmsley T.L., Dimaranan B.V., McDougall R.A. A Base Case Scenario for the Dynamic GTAP Model, 2000.
URL: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1271.pdf>
21. Bchir M.H., Decreux Y., Guérin J.L., Jean S. MIRAGE, A Computable General Equilibrium Model for Trade Policy Analysis. *CEPII Working Paper*, 2002, no. 2002-17. URL: http://www.cepii.fr/PDF_PUB/wp/2002/wp2002-17.pdf
22. Ianchovichina E., Nicita A., Soloaga I. Trade Reform and Household Welfare: The Case of Mexico. *World Bank Policy Research Working Paper*, 2001, no. 2667.
URL: <https://ssrn.com/abstract=632735>
23. Johansson A. et al. Looking to 2060: Long-term global growth prospects. A going for growth report. *OECD Economic Policy Papers*, 2012, no. 3.
URL: <http://www.oecd.org/eo/outlook/2060%20policy%20paper%20FINAL.pdf>
24. Dawid H., Harting P. Capturing Firm Behavior in Agent-based Models of Industry Evolution and Macroeconomic Dynamics. In: Buenstorf G. (ed.). *Evolution, Organization and Economic Behavior*. Edward Elgar Publishing, 2012.
URL: <https://doi.org/10.4337/9780857930897.00014>
25. Leontief W. *Ekonomicheskoe esse. Teorii, issledovaniya, fakty i politika* [Economic Essay: Theories, Theorizing, Facts, and Policies]. Moscow, Politicheskaya literatura Publ., 1990, 416 p.
26. Chereshev V.A., Chistova E.V. [Determination of regional aspects of population aging in Russia]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, iss. 12, pp. 2206–2223. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2206>
27. Baranova N.M., Sorokin L.V. [An impact of human capital on the sustainable economic development]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, vol. 16, iss. 12, pp. 2224–2237. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.16.12.2224>
28. Glazyev S., Ajvazov A., Belikov V. The Future of the World Economy Is an Integrated World Economic Structure. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2018, vol. 14, no. 1, pp. 1–12. URL: http://economyofregion.ru/Data/Issues/ER2018/March_2018/ERMarch2018_1_12.pdf (In Russ.)
29. Wilkinson J.H. *Algebraicheskaya problema sobstvennykh znachenii* [The Algebraic Eigenvalue Problem]. Moscow, Nauka Publ., 1970, 564 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.